

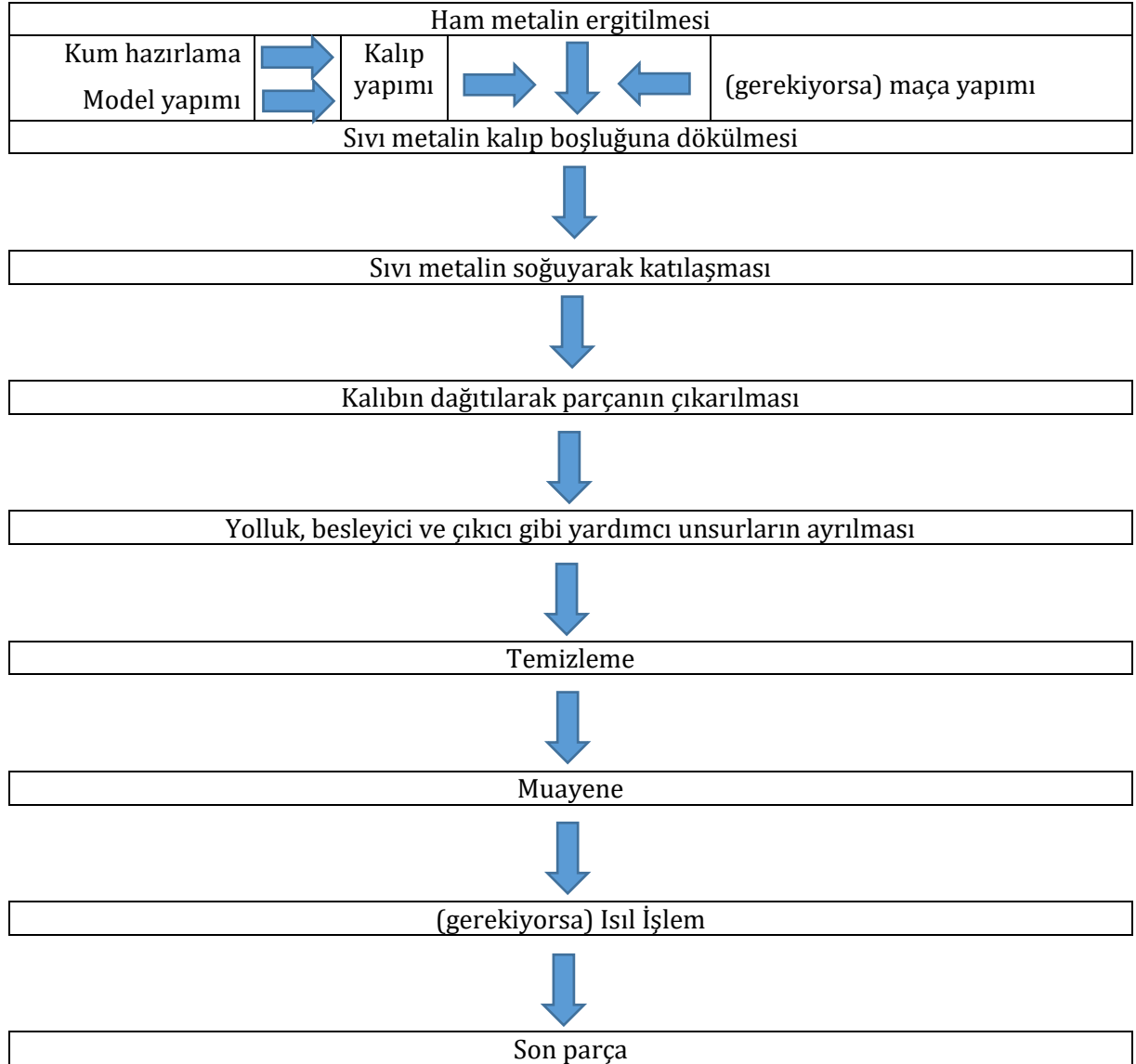
## DÖKÜM YÖNTEMLERİ

**Geçici (Bozulabilir) Kalıba Döküm Yöntemleri:** Kalıp parçayı çıkarmak için dağıtılır. Daha karmaşık şekiller mümkündür ancak dökümden çok kalıbın oluşturulması için gerekli süre uzun olduğundan imalat hızı düşüktür.

**Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri:** Kalıp metal veya seramikten olup çok sayıda döküm için kullanılabilir. Bu sayede imalat hızı yüksektir ancak parça geometrisi sınırlıdır.

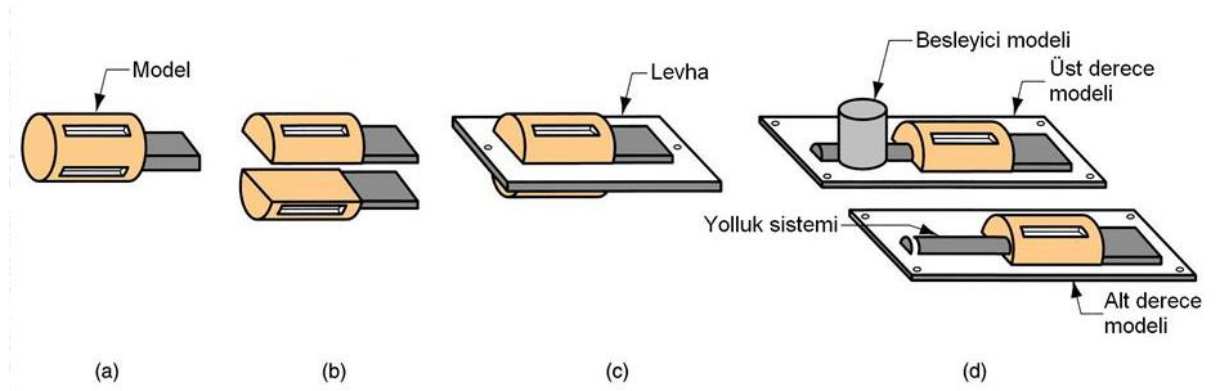
### 1. Geçici Kalıba Döküm Yöntemleri

**a) Kum Kalıba Döküm:** Geçici kalıba döküm yöntemi olup en yaygın döküm tekniğidir. Döküm metal çeşitliliği, parça boyut aralığı ve üretim miktarı aralığı oldukça geniştir. Aşamaları;

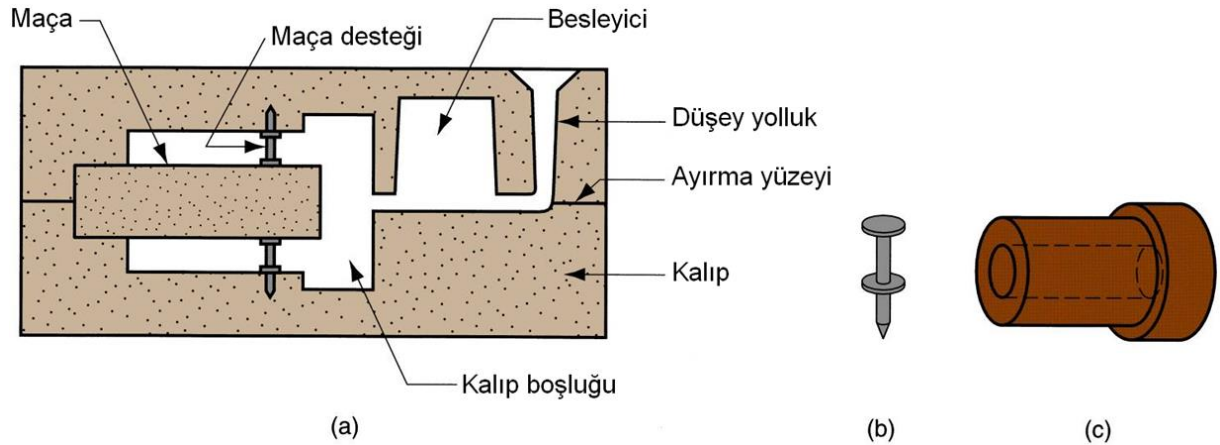


**Model yapımı:** Katılaşma sonrası büzülme ve gerekirse döküm sonrası işleme toleransları göz önünde bulundurularak parçanın şekline sahip, hafifçe büyütülmüş ahşap (ucuz, kısa ömürlü), polimer (orta pahalılıkta, orta ömürlü) veya metalden (pahalı, uzun ömürlü) üç boyutlu bir katı modeli oluşturulur. Kum dökümde serbest (a), ayrık serbest (b), çift taraflı tek levhalı (c) veya tek taraflı çift levhalı (d) model türleri kullanılır. Modellerde yatay yolluk ve besleyici/çıkıcı gibi

yardımcı unsurlar da bulunabilir. Düşey yolluk konik yapısı nedeniyle kalıptan çıkarılmayacağından modelde bulunmaz.



**Maça yapımı:** Parçanın iç boşluklarını oluşturmak, kalıbın ince kesitler gibi dayanım yönünden zayıf bölgelerini güçlendirmek veya kalıplama zorluğu olan girintili/çukuntulu bölgelerini oluşturmak için maça (c) kullanılır. Maça daha fazla bağlayıcı ile pişirilerek imal edildiğinden daha dayanıklıdır.



Gerekli görüldüğünde maçanın konumunu sabitlemek (sıvı metalin etkisiyle yüzmesini engellemek) için maça destekleri (b) kullanılabilir. Destekler döküm sonrası ergimez ancak parça ile kaynaşarak bütünleşecek malzemeden yapılır. Örneğin dökme demir için çelik maça kullanılabilir. Maçayı yüzdürmeye çalışan kuvvet sıvı metalin kaldırma kuvvetidir:

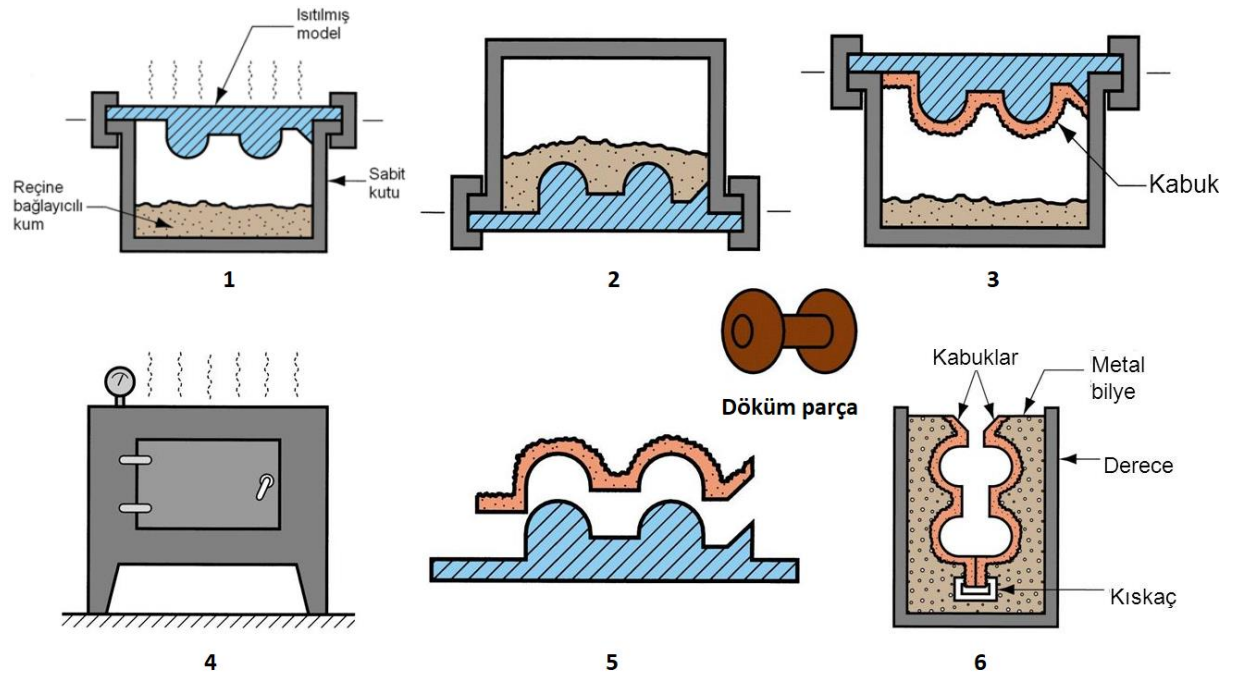
$$F_b = W_m - W_c$$

Burada;  $F_b$ , kaldırma (yüzdürme) kuvveti;  $W_m$ , yer değiştiren sıvı metalin ağırlığı ve  $W_c$  ise maçanın ağırlığıdır.

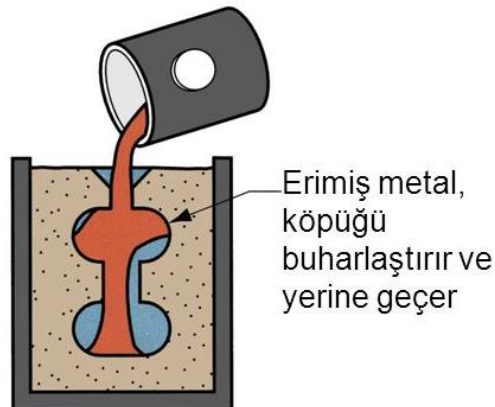
**Döküm kumları:** Yüksek sıcaklık dayanımı (refrakterlik) ve düşük ısıl genleşme özelliği nedeniyle silika ( $SiO_2$ ) yaygın olarak kalıp yapımında kullanılır. Küçük tane boyutu yüzey kalitesini iyileştirirken büyük tane boyutu gaz ve hava çıkışı kolaylaştırır. Küresel olmayan düzensiz geometriye sahip taneler kilitlenme ile dayanımı artırır. Sıvı metalin kalıp içindeki akışı sırasında erozyona dayanım göstermesi için yeterli nem ve bağlayıcı katılmalıdır. Tipik karışım; %90 kum, %3 su ve %7 bağlayıcı kil içerir. Bazen dayanım ve geçirgenlik gibi özelliklerini iyileştirmek için karışıma kömür tozu, kâğıt talaşı ve katran gibi malzemeler eklenir. Fenolik reçine gibi organik bağlayıcıların kullanılması durumunda kalıp fırında pişirilerek kuru kalıp elde

edilir. Bazen kalıp iç yüzeyleri üfleç gibi bir ısı kaynağı kullanılarak 10~20 mm derinliğe kadar kurutularak kuru kabuk kalıplama yapılır. Yaş kum kalıplamanın hava geçirgenliği düşük olduğundan soğuma sırasında ilave nem oluşumuna neden olur.

**b) Kabuk Kalıba Döküm:** Termoset reçine bağlayıcı ile pişirilerek sertleştirilen ince kumdan yapılmış kabuk şeklinde kalıp kullanılır. Isıtılmış bir model ile kapatılmış bir kutu (1) içindeki reçine bağlayıcı kum, kutu ters çevrilerek model üzerine dökülür (2). Isı etkisiyle kısmen sertleşmiş, dayanıklı bir kabuk elde edilir. Kutu tekrar ters çevrilerek gevşek kumlar dökülür (3) ve kutu açılarak kabuk kalıp çıkarılır. Kabuk kalıp modelden ayrılmadan fırında pişirilerek dayanımı artırılır (4) ve modelden ayrılır (5). Kabuk yarıları bir kutu içinde birleştirilerek çakıl veya metal bilyalarla desteklenir ve kalıp boşluğu elde edilir (6). İnce kum ve daha dayanıklı kabuk kalıp, sıvı metal akışını ve yüzey kalitesini iyileştirir. Kalıbın esnekliği döküm çatlaklarını azaltır. Klasik yöntemle göre seri imalata yönelik mekanizasyon imkânı yüksektir. Metal model ve reçine bağlayıcı maliyeti artırır. Düşük imalat miktarlarında ekonomik değildir. Çok büyük parça boyutlarında uygulanamaz.

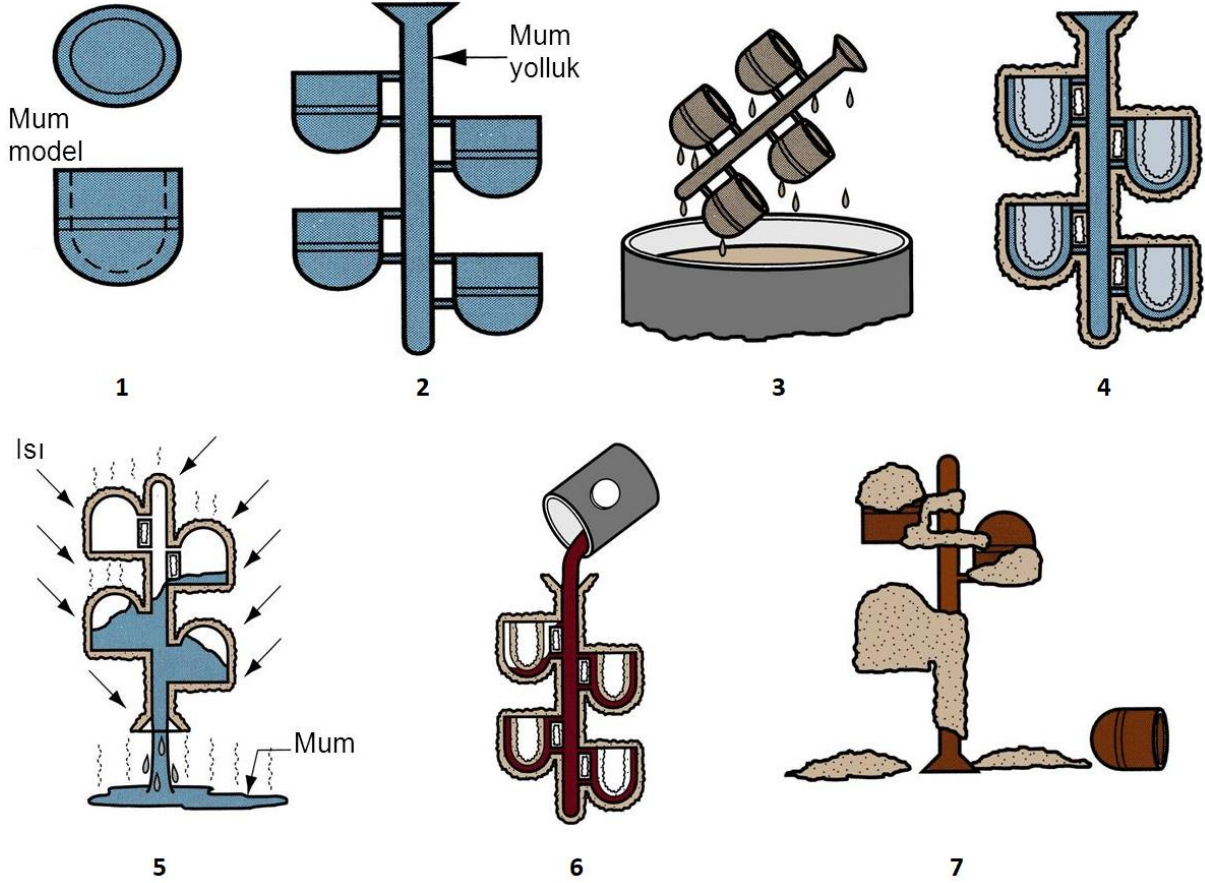


**c) Dolu (Kapalı) Kalıba Döküm:** Genellikle polistiren (PS) köpükten yapılan model yolluk, besleyici, çıkıcı ve maça gibi tüm kalıp boşluklarını içerir. Model, yüzey kalitesini arttırmak için genellikle refrakter bir bileşenle kaplanır. Model çevresi sıkıştırılmış kum ile kalıplanır. Ergimiş metal döküldüğünde köpük buharlaşarak kalıp boşluğunun metal ile dolmasını sağlar.



Kalıp tek olduğundan görece hızlı bir yöntemdir. Karmaşık geometriler imal edilebilir. Her döküm için yeni model gerekir.

**d) Hassas (Kayıp Mum) Döküm:** Mumdan yapılan model refrakter seramik bir kabukla kaplandıktan sonra ergimiş metal dökülmeden önce eritilerek uzaklaştırılır. Yüksek doğruluğa sahip detaylı parçaların dökümü kum kalıba gerek olmaksızın seramik bir kabuk içinde yapılır. Katılaşma sonrası seramik kabuk kırılarak parça elde edilir.



Genellikle düşey yolluğa bağlı çok sayıda model aynı anda seramik kaplanarak çok sayıda parça aynı anda dökülür. Bu yöntemle karmaşık ve ince detaylara sahip parçalar elde edilir. Yüksek yüzey kaliteli ürünler dökülür. Mum tekrar tekrar kullanılır. İlave talaşlı imalat gerektirmeyen net şekilli parçalar elde edilir. Ancak hazırlık aşaması uzun ve pahalı bir yöntemdir ve mekanizasyona uygun değildir.

**e) Alçı Kalıba Döküm:** Kum kalıba döküm ile benzerlik gösterir. Kalıp malzemesi alçı ve su karışımı olduğundan sudan etkilenmeyen plastik veya metal model kullanılır. Alçı kalıp ince detayların yüksek yüzey kalitesi ile elde edilmesini sağlar. Döküm sırasında nem iyi ayarlanmalıdır. Aşırı nem hava çıkışını engellerken düşük nem kalıp dayanımını düşürür. Alçı kalıbın sıcaklık dayanımı 1200 °C ile sınırlıdır.

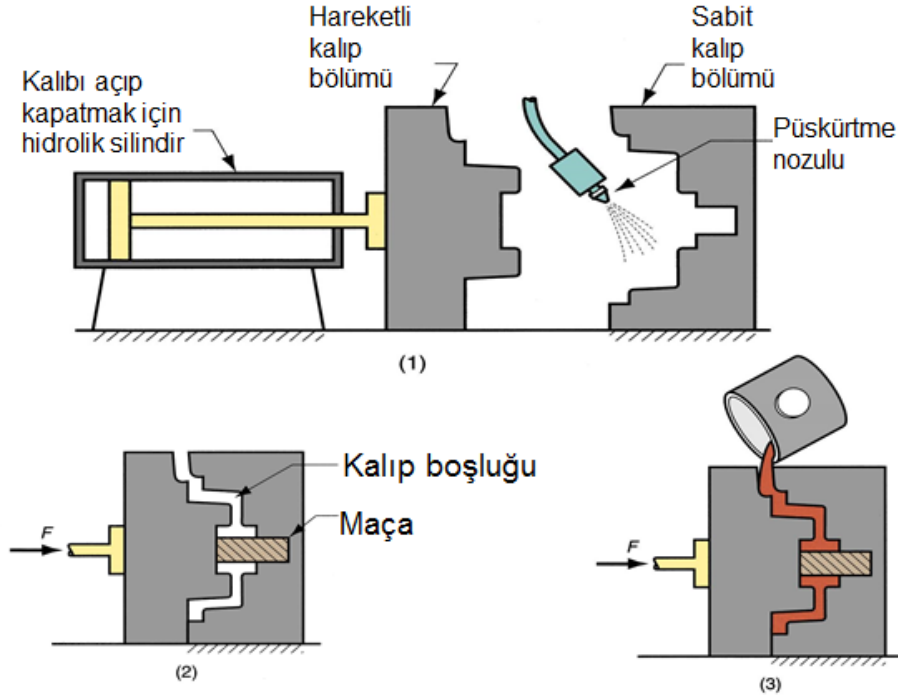
**f) Seramik Kalıba Döküm:** Alçı kalıba döküme benzer bir yöntem olup daha yüksek sıcaklık dayanımı sayesinde demir, çelik ve diğer yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin dökümüne olanak sağlar. Son derece pahalı olan bu yöntemde, sıvı seramik bir derece içindeki modelin üzerine dökülerek katılaştırıldıktan sonra seramik kalıp modelden ayrılır ve üfleyle yakılarak dayanımı artırılır.

**g) Vakum Kalıba Döküm:** Kum kalıba döküm yöntemi olup kumu bir arada tutmak için nem ve bağlayıcı yerine vakum kullanılır. Bunun için model üzerine kum yerleştirilmeden önce plastik bir film ve vakum uygulanarak kum modelden ayrılır. Vakum devam ederken alt ve üst dereceler birleştirilir ve döküm gerçekleştirilir. Bağlayıcı olmadığından kumun tekrar kullanımı kolaydır. Su olmadığından parçada neme bağlı hatalar oluşmaz ve vakum sayesinde gaz boşlukları engellenir. İnce taneli kum ile iyi yüzey kalitesi elde edilir. Çevreye olumsuz etkileri düşüktür. Görece yavaş, mekanizasyona uygun olmayan ve parça boyutunun kısıtlı olduğu bir yöntemdir.

## 2. Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri

**a) Kokil (Metal) Kalıba Döküm:** Kolay ve hassas şekilde açılıp kapatılabilen iki parçalı metal kalıp kullanılır (2, 3). Düşük ergime sıcaklığına sahip alüminyum, magnezyum ve bakır gibi metaller için dökme demir veya çelik, demir ve çelikler için molibden, tantal ve tungsten gibi refrakter metal veya seramiklerden kalıp yapılır. İşlem öncesinde kalıpların ısıl gerilmelerini azaltmak için ön ısıtma yapılır ve yapışmayı önlemek için kalıp iç yüzeyleri yağlanır (1).

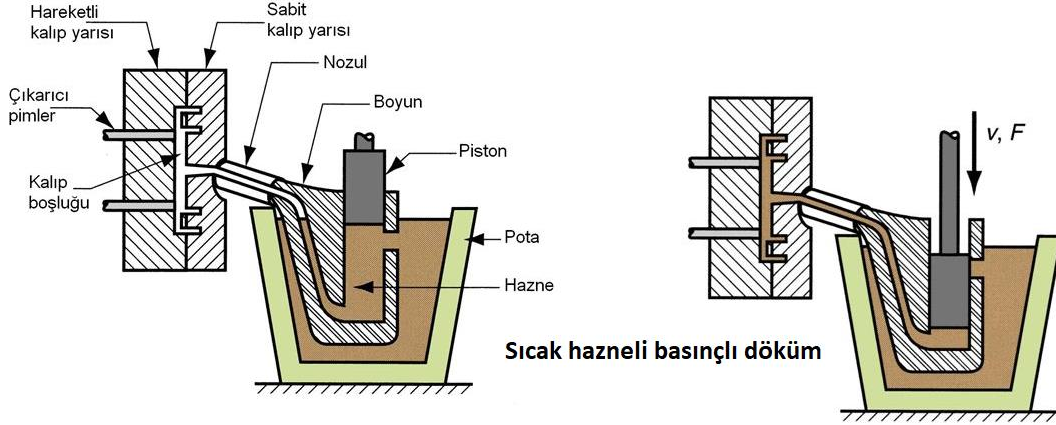
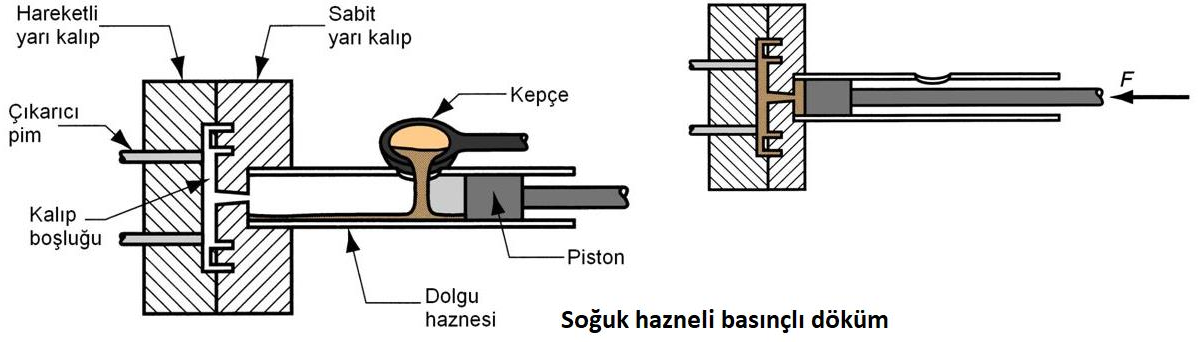
Kokil kalıba dökümün üstün yönleri	Kokil kalıba dökümün zayıf yönleri
- Yüksek boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi elde edilir.	- Çok yüksek sıcaklıkta eriyen metallere uygun değildir.
- Soğuk kalıp kullanıldığında ince taneli yapı sayesinde iyi dayanım elde edilir.	- Kalıp açılacağından geometri basit olmalıdır.
	- Yüksek kalıp maliyeti nedeniyle düşük imalat miktarlarında ekonomik değildir.



Bu yöntemle otomobil pistonu, pompa gövdesi ve uçak/roket gibi hava aracı parçaları dökülür.

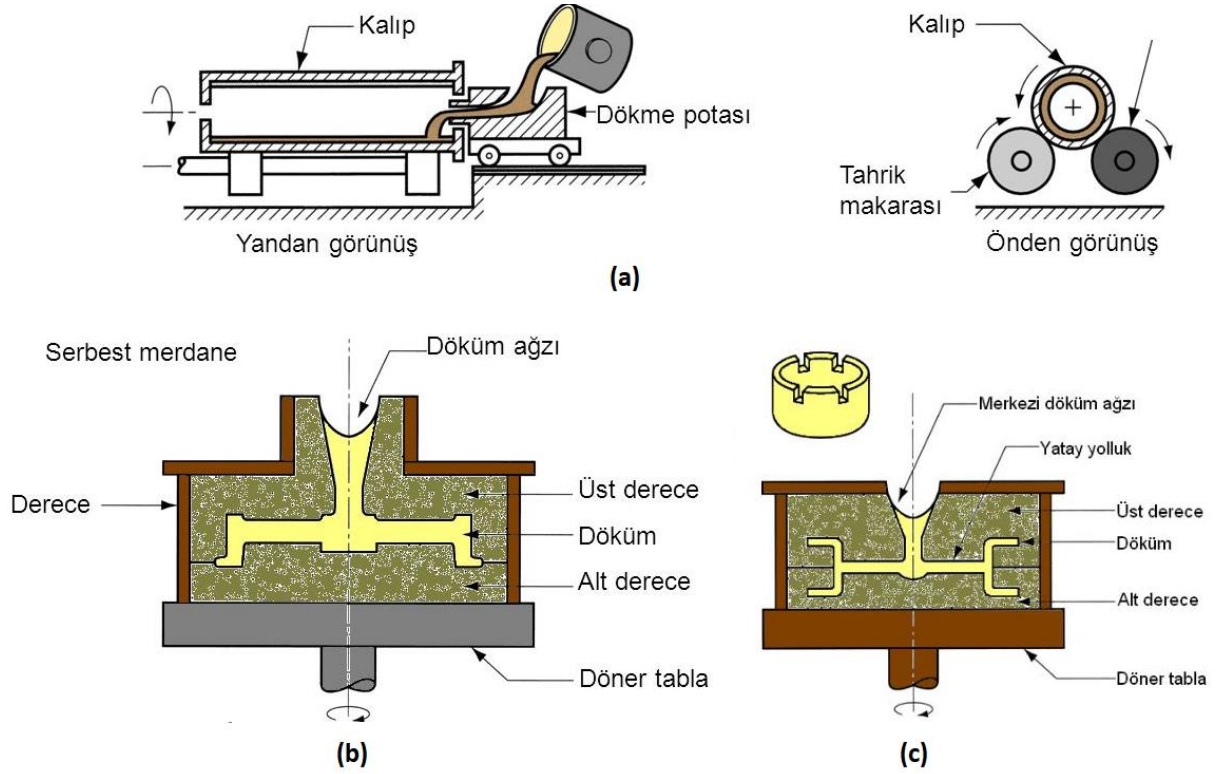
**b) Basıncılı Döküm:** Esas itibarıyla metal kalıba döküm yöntemi olup ergimiş metal 10~150 MPa arasında bir basınç ile kalıp boşluğuna gönderilir. Bu sayede ince ve karmaşık kesitlerin dökümü mümkün olur. Ergimiş metal soğuk soğuk veya sıcak bir hazne içerisinde piston silindir düzeneği ile kalıp boşluğuna gönderilir.





Düşük ergime sıcaklığına sahip metallerin dökümü için takım ve kalıp çelikleri, demir ve çelik için tungsten, molibden ve tantal gibi refrakter metallere kalıp imal edilir. Döküm öncesinde kalıplar yağlanır. Yüksek imalat miktarlarında ekonomiktir. Yüksek boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi elde edilir. İnce kesitler hassas şekilde elde edilir. Hızlı soğuma ince taneli yapı ve yüksek dayanım sağlar. Yüksek sıcaklıkta ergiyen metaller için uygun olmayıp bu yöntemle çok karmaşık parçalar dökülemez.

**c) Santrifüj Döküm:** Metal kalıbının yüksek hızda döndürülmesiyle oluşan merkezkaç kuvvetin etkisiyle ergimiş metalin kalıbın dış bölgelerine dağıtıldığı yaygın bir döküm yöntemidir. Gerçek savurmalı döküm (a), yarı savurmalı döküm (b) ve savurmalı döküm (c) şeklinde adlandırılan türleri bulunur.



Boru, tüp, burç ve halka gibi içi boş iç yüzeyi dairesel, dış yüzeyi dairesel veya farklı geometriye sahip radyal simetrik ürünlerin elde edildiği gerçek savurmalı dökümde döndürme alttan tahrik makarasıyla yapılır. Yarı savurmalı dökümde tekerlek ve makara gibi dolu radyal simetrik parçalar dökülür. Savurmalı dökümde radyal simetrik veya simetrik olmayan dolu parçalar elde edilir.

**Döküm Ocakları:** Metali ergitmede kullanılan refrakter özellikli ısıtıcılar olan döküm ocaklarında ergitilen metal büyük pota veya küçük kepçelerle ocaktan döküm bölgesine taşınır. Döküm ocakları;

- Kupol Ocağı: Basıncı hava ile üflenerek yakılan kok kömürü ile ısıtma yapılır. Dökme demir için kullanılan yüksek tonajlı bir ergitme ocağıdır. Şarj denilen demir, kömür (karbon) ve diğer alaşım elementlerinin karışımı ocağa bir arada yüklenir. Ergimiş metal, ocağın alt kısmında bulunan dökme kanalından akıtılır.

- Doğrudan Yakıt Yakan Ocak

- Potalı Ocak: Refrakter malzeme veya yüksek alaşımlı çelikten yapılan pota bir fırın içinde dışarıdan ısıtılarak içindeki metal ergitilir. Daha sonra pota döküm yapılacak yere taşınarak ergimiş metal dökülür.

- Elektrik Ark Ocağı: Ergitme elektrik arkının ürettiği ısı ile yapılır. 50 ton/saat gibi çok yüksek imalat kapasitelerine ulaşılabilir. 3000 °C sıcaklıklara çıkılabilir. Çeliklerin dökümünde yaygın kullanılır. parametrelerin hassas kontrolüne olanak sağlar. Ergimiş metal dökme ağzından akıtılır.

- İndüksiyon Ocağı: Ergitme kabındaki metal, kabın dışını saran bir bakır bobinden geçen indüksiyon akımı ile hızlı şekilde ısıtılır. Bobinin sağladığı elektromanyetik etki aynı zamanda kap içindeki sıvı metali karıştırarak ergitme kalitesini artırır. Yüksek ergitme kontrolüne olanak sağlayan bir yöntem olup alüminyum, demir ve çeliğin ergitilmesinde yaygın kullanılır.

## Katılma Sonrası İşlemler

**1. Tıraşlama/Budama:** Katılmış dökümden yolluk, besleyici, ayırma yüzeyi çapağı, maça desteği gibi fazlalıkların uzaklaştırılması işlemidir. Gevrek parçalarda kırarak, sünek parçalarda testere, taş veya alevle kesme gibi yöntemlerle yapılır.

**2. Maça Çıkarma:** Kum maçalar sarsarak dökümden uzaklaştırılabilir. Kimyasal bağlayıcı kum maçalar için çözücü madde kullanmak gerekebilir. Katı maçalar çekiç veya presle iterek çıkarılır.

**3. Yüzey Temizleme:** Döküm yüzeyine yapışan kumun temizlenmesi ve yüzey görünümünün iyileştirilmesi için yapılır. Kalıcı kalıp yöntemlerinde genellikle gerek duyulmaz. Temizleme; aşındırıcı parçacık içinde titreşim, kaba kum veya metal bilyalı hava püskürtme, telle fırçalama, silme ve kimyasal dağlama gibi yöntemlerle yapılabilir.

**4. Muayene:** Soğuk yapışma, çökme gibi gözle görülür yüzey hataları için görsel muayene yapılır. toleransların kontrolü için boyut ölçümü yapılır. Döküm çatlaklarının ve iç boşlukların tespiti sıvı, manyetik toz, ultrasonik dalga gibi yöntemlerle tahribatsız muayene yapılır. Metalürjik özellikler için fiziksel ve kimyasal testler yapılır.

**5. Tamir:** Kritik iç hata içeren döküm parçalar genellikle hurdaya ayrılıp tekrar ergitilir. Dış hatalar talaşlı imalat ve kaynak gibi işlemlerle giderilebilir.

**6. Isıl İşlem:** Döküm parçalar genellikle kaba, lamel şeklinde ve dendritik tane yapısına sahip olduğundan mekanik özellikleri zayıf ve düzensizdir. Ayrıca, döküm sonrası talaş kaldırma için uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda ısıl işlemle istenilen özellikler kazandırılır.

## Döküm Kalitesi

Kum kalıba döküm yöntemi başta olmak üzere döküm işlemleri çok aşamalı ve uzmanlık gerektiren bir süreç olduğundan kaliteyi etkileyen pek çok döküm kusuru ortaya çıkabilir. Bunlar;

- Genel döküm kusurları: Eksik döküm, soğuk birleşme, soğuk yapışma, çekme boşluğu

- Kum kalıba döküm kusurları: Gaz boşluğu, gözeneklilik, penetrasyon (sızma), kalıp/derece kayması, çökme

Eksik döküm: Kalıp boşluğu tam dolmadan erken katılma

Soğuk birleşme: Farklı yollardan gelip birleşen metalin erken katılma nedeniyle kaynaşamaması

Soğuk yapışma: Düzensiz soğuma nedeniyle ana yapıdan önce katılan taneciklerin döküm içinde ayrı yapı oluşturması

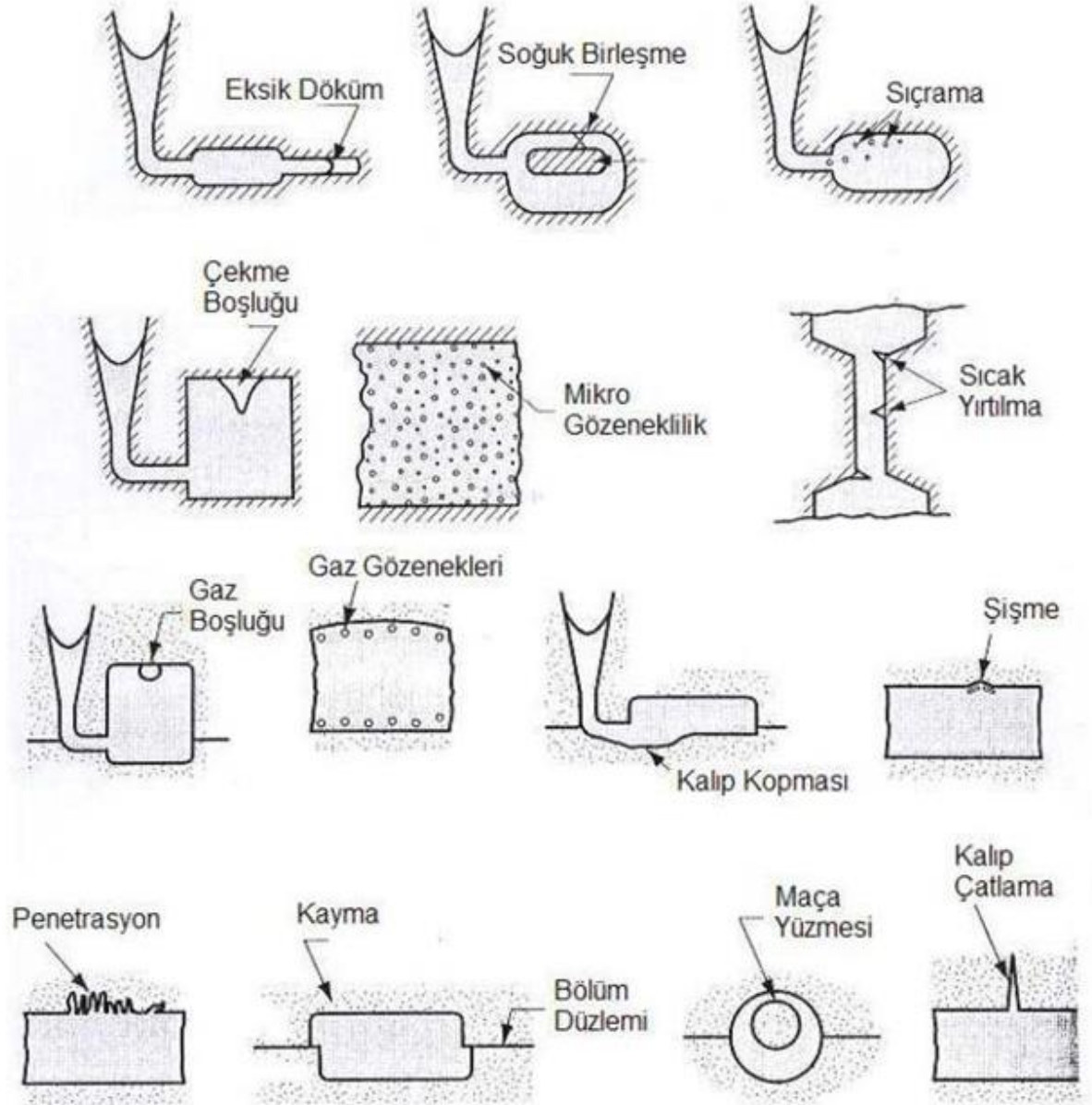
Çekme boşluğu/Çökme: Katılmadan dolayı parçada büzülmenin etkisiyle yüzeyde çökme veya iç boşluk

Gaz boşluğu/Gözeneklilik: Döküm gazlarının çıkışının katılmadan önce kalıp boşluğunu terk edememesi

Sızma: Sıvı metalin dayanımı yetersiz kalıp yüzeyine sızması

Kalıp/derece kayması: Alt ve üst derecelerin birleştirilmesi sırasında yüzeylerin denk gelmemesi





## Döküm Metalleri

1. Saf metaller (nadiren kullanılır)

2. Alaşımlar (yaygın kullanılır)

2.1. Demir esaslı alaşımlar

2.1.1. Demir (~1400 °C): Kır, küresel, beyaz, temper, kompakt grafitli

2.1.2. Çelik (~1650 °C)

2.2. Demir dışı alaşımlar

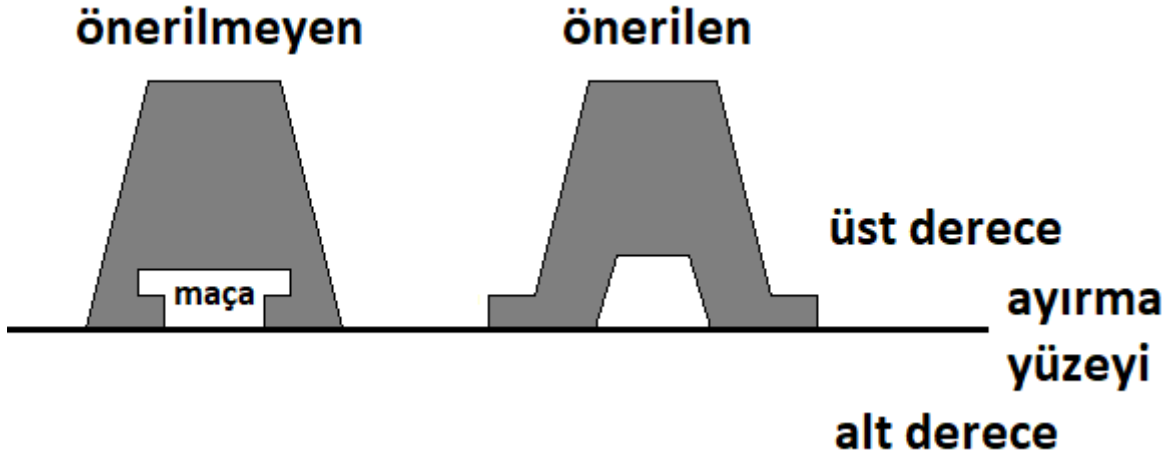
2.2.1. Alüminyum (~700 °C)

2.2.2. Bakır (~1150 °C)

2.2.3. Çinko (~450 °C)

## Döküm Ürün Tasarım Prensipleri

- Geometrinin olabildiğince basit olması döküm kalitesini artırır ve maliyeti düşürür.
- Döküm sırasında keskin köşeler sıvı metal akışını zorlaştıracığından, kalıbı zorlayacağından ve döküm parçada gerilme yığılmasına neden olacağından keskin köşe ve kenarlardan kaçınılarak yuvarlatma yapılmalıdır.
- Parçanın kalıptan rahat çıkarılabilmesi için uygun olması durumunda yüzeylere birkaç derece eğim verilmelidir.
- Mümkün olduğu durumlarda, tasarım değişikliği ile maça ihtiyacı ortadan kaldırılmalıdır.



- Döküm geometrisine, işlemine, yöntemine ve malzemeye bağlı olarak boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi değişir. Bu durum göz önünde bulundurularak eğer döküm sonrası talaş kaldırılacaksa, tasarım talaşlı işleme toleransları hesaba katılmalıdır.